

ВІСНИК ПРИАЗОВСЬКОГО ДЕРЖАВНОГО ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
2004 р. Вип. №14

УДК 681.5.08

Зайцев В.С.¹, Добровольская Л.А.², Тютюнник Е. Н.³

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕОРЕТИЧЕСКОГО РАДИУСА И МАХОВОГО МОМЕНТА РУЛОНА

Предложена методика определения теоретического радиуса и махового момента рулонов в процессах намотки и размотки длинных полос металла на моталках в листопрокатных цехах. Приведены математические модели этих параметров рулонов, сформулированы предложения по реализации разработанных моделей для оптимизации процессов управления

Для оптимального управления скоростными режимами работы электроприводов моталок необходима информация о статических и динамических моментах моталок с наматываемым или разматываемым рулоном длинномерного листового проката.

Известно, что момент, создаваемый двигателем моталки, имеет три составляющих [1]:

а) составляющую M_m , обусловленную силой натяжения T и диаметром D_p намотки,

$$M_m = TR_p, \quad (1)$$

где R_p – радиус рулона, $R_p = D_p / 2$;

б) составляющую $M_{из}$, обусловленную сопротивлением полосы изгиба по радиусу намотки

$$M_{из} = K_{из} b h^3 / 2 R_p \quad (2)$$

где $K_{из}$ – коэффициент;
 b – ширина полосы;
 h – толщина полосы;

в) динамическую составляющую M_d , равную

$$M_d = [(GD_m^2 + GD_p^2) / 375] (dn_m / dt), \quad (3)$$

где GD_m^2 – маховый момент моталки (кгм^2);
 $GD_p^2 = G(2R_p)^2$ – маховый момент рулона;
 n_m – скорость вращения моталки.

Из сказанного выше следует, что вращающий момент двигателя является функцией радиуса рулона R_p и, чем точнее определен радиус рулона, тем точнее будет рассчитан вращающий момент двигателя, и тем выше будет качество рулонов.

В настоящее время диаметр рулона определяется косвенным способом [1] по соотношению между скоростями вращения моталки n_m и холостого подающего ролика n_0 , имеющего диаметр $D_{рол}$:

$$D_p = D_{рол} (n_0 / n_m).$$

Радиус рулона равен

$$R_p = (D_{рол} n_0) / (2n_m). \quad (4)$$

¹ ПГТУ, д-р техн. наук, проф.

² ПГТУ, канд. техн. наук, доц.

³ ОАО «МК им. Ильича», инженер

Точность определения радиуса рулона зависит от точности определения скоростей вращения n_m и n_0 . При использовании традиционных тахогенераторов относительная погрешность определения скорости составляет $\varepsilon_n = 0,3-2,5\%$ при использовании цифровых схем эта погрешность составит около $0,1\%$ [2]. Результирующая погрешность определения радиуса рулона достигает $1,5 - 2,5 \%$, что затрудняет реализацию оптимальных режимов.

К сожалению, при определении радиуса рулона в существующих методах не учитываются также зазоры между витками материала в рулоне.

Целью настоящей статьи является изложение разработанных авторами предложений по повышению точности и быстродействия операций по определению радиуса и махового момента рулона. Теоретический радиус рулона предлагается определять по выражению

$$R_t = - [(h + \delta) / 2] + \{ [R_i + (h + \delta) / 2]^2 + [(h + \delta) / \pi] \int_0^t v(t) dt \}^{-0,5}, \quad (5)$$

где R_t - теоретическое значение радиуса рулона;

R_i - текущее значение радиуса рулона;

h - толщина наматываемого материала;

δ - среднее значение зазора между витками материала в рулоне;

$v(t)$ - закон изменения линейной скорости материала;

t - промежуток времени, через который необходимо определить скорость.

Используя способ измерения расстояния до поверхности нагретого тела [3], можно определять радиус рулона в процессе его намотки. На поверхность рулона 2 направляется с помощью специального излучателя 1 акустическая волна, принимаются отраженные от поверхности рулона сигналы, измеряется время между посылкой зондирующего сигнала и его приходом на приемник. С помощью пирометра измеряется температура отражающей

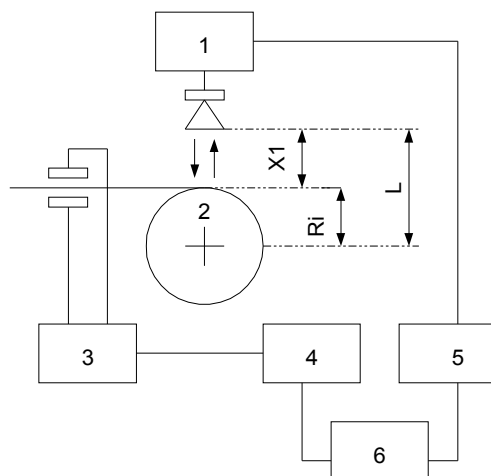


Рис.1 – К определению радиуса рулона

поверхности рулона, а с помощью термопары измеряется температура воздуха в месте установки приемника и излучателя, и на основе этой информации определяется расстояние до отражающей поверхности рулона. При этом радиус рулона R_i определяется как $R_i = L - X_i$, где X_i - измеренное расстояние; L - расстояние от оси ролика моталки до места установки приемника.

Толщина листового проката измеряется с помощью толщиномера 3. Усилительные блоки 4, 5 и вычислительный блок 6 служат для обработки сигналов и вычисления радиуса рулона.

В случае измерения радиуса холодных рулонов операции измерения температур с помощью пирометра и термопары отпадают. Возможно также использование электромагнитных волн для измерения величины X_i с помощью радиолокационных методов.

Выражение (5) для определения R_t получено из следующих соображений [4]. Поскольку длинномерный материал наматывается в рулон по спирали, то для вычисления теоретического радиуса удобно использовать приращение площади рулона за время t .

Это приращение составит величину

$$(h + \delta) \int_0^t v(t) dt.$$

Поскольку общая площадь круга составляет πR^2 , то, с учетом толщины материала и зазора между витками, площадь рулона (по торцу) составит

$$\pi [R_l + (h + \delta) / 2]^2 + [(h + \delta) / \pi] \int_0^t v(t) dt.$$

Квадрат расчетного радиуса равен

$$R_t^2 = [R_l + (h + \delta) / 2]^2 + [(h + \delta) / \pi] \int_0^t v(t) dt,$$

а теоретический радиус рулона с учетом намотки по спирали и примет приведенное выше выражение (5).

Следует также отметить, что дополнительные погрешности возникают и при определении расчетным путем динамической составляющей момента, которая в настоящее время определяется из условия сплошности рулона. В то же время рулон представляет собой не сплошной металлический цилиндр, а систему витков, прилегающих друг к другу с зазором.

Авторами предложено математическое выражение для определения махового момента рулона, позволяющее учитывать зазоры между витками [5].

Маховый момент в общем случае определяется по формуле [1]

$$GD^2 = 4gJ,$$

где g - ускорение силы тяжести;

J - момент инерции.

Для полого цилиндра момент инерции равен

$$J = m\rho^2 = (R_n^2 + R_e^2) / 2, \quad (6)$$

где ρ - радиус инерции тела;

m - масса тела;

R_n и R_e - наружный и внутренний радиусы стенок цилиндра, $R_e = R_n - h$,

где h - толщина стенки цилиндра.

С учетом приведенных выше соотношений получено выражение для определения махового момента вращающегося цилиндра (витка рулона) в виде

$$GD_{\text{вит}}^2 = 4gm [R_n^2 + (R_n - h)^2] / 2 = 2gm (2R_n^2 - 2R_n h + h^2).$$

Масса витка определяется, как масса полого цилиндра

$$m = \gamma b \pi (R_n^2 - R_e^2) = \gamma b \pi [R_n^2 - (R_n - h)^2] = \gamma b \pi (2R_n h - h^2),$$

где γ - удельный вес металла;

b - ширина сматываемой полосы.

Маховый момент рулона может быть определен, как сумма маховых моментов отдельных витков

$$GD_p^2 = \sum_{i=1}^k GD_{i \text{ вит}}^2 = \sum_{i=1}^k [2g \gamma b \pi (2R_n h - h^2) (2R_n^2 - 2R_n h + h^2)], \quad (7)$$

где i - порядковый номер витка;

k - число витков к моменту времени определения махового момента рулона;

h_i - толщина полосы в i -том витке;

$R_{pi} = R_n$ - наружный радиус рулона в процессе намотки.

Как следует из выражения махового момента рулона, он является функцией радиуса рулона и толщины полосы. С учетом (3) и (7) динамический момент моталки с рулоном может быть вычислен по формуле

$$M_d = \left\{ \left\{ G D_m^2 + \sum_{i=1}^K [2g \gamma b \pi (2 R_n h - h^2) (2 R_n^2 - 2 R_n h + h^2)] \right\} / 375 \right\} \cdot (dn_m/dt), \quad (8)$$

которая может быть использована при формировании закона регулирования приводом моталки [5].

При разматывании рулона квадрат его расчётного радиуса по аналогии с (5) будет определяться по выражению

$$R_t^2 = (R_l + (h + \delta) / 2)^2 - ((h + \delta) / \pi) \int_0^t v(t) dt, \quad (9)$$

а с учётом размотки по спирали для определения расчётного радиуса рулона предлагается использовать выражение

$$R_t = - [(h + \delta) / 2] + \left\{ [R_l + (h + \delta) / 2]^2 - [(h + \delta) / \pi] \int_0^t v(t) dt \right\}^{-0,5}. \quad (10)$$

На рис. 2 и 3 показаны зависимости радиуса рулона при намотке и размотке с постоянной линейной скоростью.

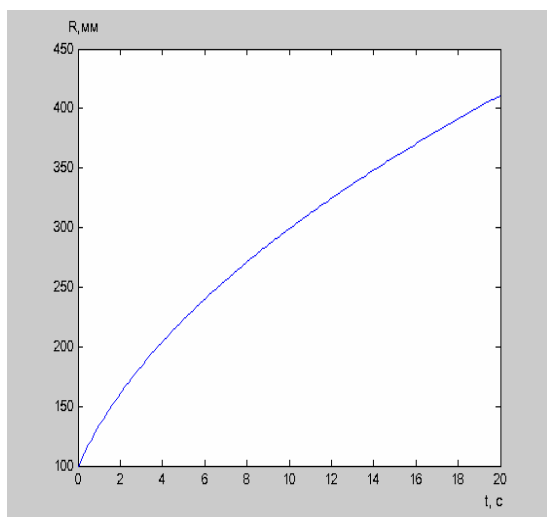


Рис.2. Изменение радиуса рулона при его намотке с постоянной скоростью

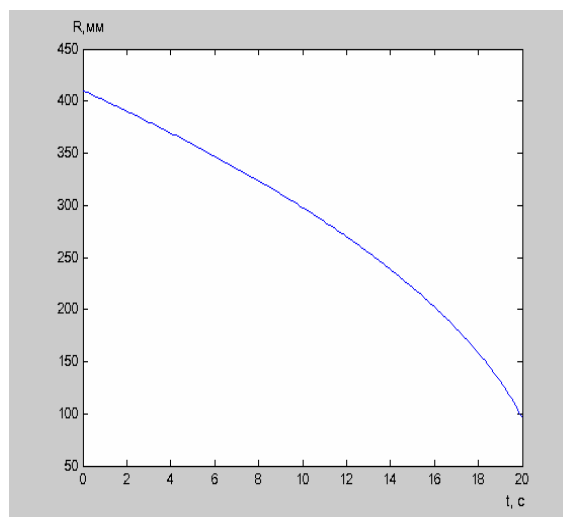


Рис.3. Изменение радиуса рулона при размотке с постоянной скоростью

Расчёты зависимостей радиуса рулона при намотке осуществлялись при намотке по выражению (5) и при размотке – по выражению (10).

Расчёты и построение зависимостей осуществлялись в среде MATLAB при следующих начальных условиях:

намотка

$h=1.2$ мм; $\delta=0.05$ мм; $R_l=100$ мм; $0 \leq t \leq 20$ с; $v = 20000$ мм / с;

размотка

$h=1.2$ мм; $\delta = 0.05$ мм; $R_l = 410$ мм ; $0 \leq t \leq 20$ с ; $v = 20000$ мм / с.

Расчёты значений радиуса рулона осуществлялись с дискретностью 0,1 секунды.

Предварительная оценка по результатам имитационного моделирования показывает, что погрешность определения величины радиуса рулона составляет не более 1 %.

Для построения системы управления скоростными режимами намотки и размотки рулонов на моталках авторами предлагается для формирования управляющих воздействий использовать искусственные нейронные сети (ИНС) и фаззи – контроллеры [6]. ИНС должны быть предварительно обучены. В качестве входных векторов должны быть использованы значения величин, стоящих в правых частях выражений (5), (7) и (10), в качестве выходных

величин – сигналы, характеризующие текущие значения радиуса и махового момента рулона во время намотки и размотки длинномерных материалов.

Для первоначального обучения ИНС рекомендуется применить так называемое «обучение с учителем». Для этой цели используются аналитические выражения (5), (8), (10). Для каждого из параметров, определяемых по этим выражениям, создаётся своя ИНС. Варьируя переменные величины, образующие входные векторы, случайным образом в пределах вероятных диапазонов их значений, по приведенным выше выражениям (5), (8), (10) рассчитываются соответствующие случайные значения выходных величин. Статистические характеристики входных и выходных величин используются для определения весов ИНС. Обучение в этом случае ведётся методом обратной передачи ошибки [7].

Поскольку зависимости между входными и выходными параметрами по выражениям (5), (8), (10) носят нелинейный характер, ИНС должна быть многослойной, иметь как минимум два слоя нейронов. В качестве активационной функции рекомендуются сигмоидная функция или функция гиперболического тангенса.

Параметры ИНС уточняются в процессе её эксплуатации путём определения реальных статистических характеристик величин, входящих во входные и выходные векторы.

На основании выходной информации ИНС фаззи – контроллеры вырабатывают управляющие сигналы для систем управления скоростными режимами электроприводов прокатного стана и моталок.

Выводы

1. Предложены математические модели для определения теоретического радиуса и махового момента рулона в процессе намотки и размотки длинномерных материалов. Предлагаемые способы определения махового момента и радиуса рулона, основанные на прямом измерении изменяющегося в процессе прокатки радиуса рулона и на соответствующих математических моделях, выглядят предпочтительнее с точки зрения быстроты действия и точности систем управления электроприводами прокатного стана и моталок.

2. Реализация предложенных способов может быть наилучшим способом решена с помощью ИНС и фаззи – контроллеров. Рекомендуется произвести первоначальное обучение ИНС методом обратного распространения ошибки. Веса ИНС уточняются в процессе её эксплуатации по мере уточнения статистических характеристик параметров.

Перечень ссылок

1. Челюсткин А.Б. Автоматизация процессов прокатного производства / А.Б.Челюсткин – М.: Металлургия, 1971. – 296с.
2. Богорад Г.З. Цифровые регуляторы и измерители скорости / Г.З. Богорад, В.А.Киблицкий. – М.: Энергия, 1966. – 121с.
3. А.С. №1158864, СССР. Способ измерения расстояния до поверхности нагретого тела / В.С. Зайцев, А.А. Вахтин, В.К. Манча и др. – М.: БИ №20, – 1985.
4. А.С. №1343238, СССР. Способ определения теоретического радиуса рулона в процессе намотки длинномерного материала / В.Л.Мазур, В.С. Зайцев, Г.И.Налча и др. – М.: БИ №37. – 1987.
5. А.С. №1357104, СССР. Способ определения махового момента рулона полосы в процессе намотки / В.С.Зайцев, В.Л.Мазур, Г.И.Налча и др. БИ №45. – 1987. – М.
6. Системы фuzzi – управления / В.И.Архангельский, И.Н.Богаченко, Г.Г.Грабовский, Н.А.Рюмин. – К.: Техника, 1997. – 208с.
7. Нейронные сети в системах автоматизации / В.И.Архангельский, И.Н.Богаченко, Г.Г.Грабовский, Н.А.Рюмин. – К.: Техника, 1999. – 364с.

Статья поступила 04.03.2004